

Aus der Prothetischen Abteilung
(Vorstand: Prof. Dr. E. Kraft)
der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
(Direktor: Prof. Dr. Dr. J. Heiss) der Universität München

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN DES GUßGEFÜGES

DES KRONENRANDES BEIM VAKUUMDRUCKGUß

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Erhard Schön

München

1972

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität München

Berichterstatter: PD. Dr. Dr. P. Fuchs
Mitberichterstatter: Prof. Dr. E. Kraft
Dekan: Prof. Dr. W. Spann
Tag der mündlichen Prüfung: 7. März 1972



INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
A <u>EINLEITUNG</u>	1
a) Bedeutung des Kronenrandes in physiolo- gischer und werkstoffkundlicher Hinsicht in der Literatur	1
b) Anregungen zu den Untersuchungen	2
B <u>METHODE UND MATERIAL</u>	2
a) Beschreibung des Gußverfahrens	2
b) Beschreibung des Gußgerätes	3
c) Verwendete Legierungen	5
C <u>PROBLEMSTELLUNG</u>	5
D <u>VERSUCHSANORDNUNG</u>	6
a) Herstellung der Kronenmodelle	6
b) Einbetten und Gießen der Kronen	6
c) Prüfverfahren	7
E <u>ERGEBNISSE</u>	9
a) Voruntersuchungen	9
b) Härtewerte	10
c) Statistische Auswertung	10
d) Korngrößenbestimmung	10
e) Statistische Auswertung	11

F	<u>DISKUSSION</u>	12
	a) Vor- und Nachteile des Gußverfahrens	12
	b) Schlußfolgerungen aus den Ergebnissen	15
G	<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	16
H	<u>BILDMATERIAL</u>	18
I	<u>TABELLEN</u>	34
K	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	54

a) Bedeutung des Kronenrandes in physiologischer und werkstoffkundlicher Hinsicht in der Literatur

Der Erfolg zahnärztlicher Prothetik ist aufs innigste mit der kritischen Zone des Kronenrandes verknüpft. Nur bei präzisestem Anliegen des Randes und bester Parodontalhygiene erscheint eine ausreichende Lebensdauer unseres Kronen- und Brückenersatzes gewährleistet. Die jahrzehntelangen wissenschaftlichen Auseinandersetzungen der Vor- und Nachteile von Band- oder Gußkronen entzündeten sich fast regelmäßig an diesen Vorstellungen. Dabei ist nicht nur die physiologische Gestaltung der Verschlußzone in bezug auf das marginale Parodontium von Interesse; vor allem muß in dieser Hinsicht der werkstoffgerechte Kronenrand gefordert werden. Denn sowohl die nicht exakt gestaltete und eng anliegende Verschlußzone ist ungenügend indifferent dem kontaktierenden Gewebe gegenüber, (DREYER-JÖRGENSEN, K. (8), GREWE, K. (15), KLEEBOERG, R. (20), KRAFT, E. (23, 24), MEYER, W. (32), SCHUG-KÖSTERS, M. (39), TYLMAN, S.D. und TYLMAN, S.G. (44) und VEST, G. (45)) als auch der weiche, rauhe, gezahnte, chemisch angreifbare, grobkörnige und inhomogene Kronenrand (BEECK, K.H. (1), DEGUSSA (5, 7), EICHNER, K. (9), FAESCH, Th. (10), FRÖHLICH, E. (12), GREWE, K. (15), JUNG, F. und HUPFAUF, L. (18), KRAFT, E. (23, 24), LOEBICH, O. (28, 29), SPRENG, M. (41), STRICKLAND, W.D. und STURDEVANT, C.M. (42), TYLMAN, S.D. und TYLMAN, S.G. (44), VOB, R. (46), WEIKART, P. (51, 52)). Immer wieder zeigen sich uns bei klinischer Untersuchung die Folgen obengenannter Fehler trotz aller Bemühungen um bestmögliche physiologische Bedingungen und werkstoffkundliche Perfektion. KÖRBER und LENZ (21) berichten, daß bei einer Mikrostufe bzw. einem Mikrospalt von 0,2 mm

und kleiner keine Reizung des Parodonts und des Inneren-Saumepithels zu finden waren, während bei einer Makrostufe oder einem Makrospalt über 0,2 mm pathologische Veränderungen auftraten. Nach EICHNER (9) beginnen solche Prozesse am Parodont mit einer unspezifischen Hyperplasie der Gingiva, führen über einfache marginale Zahnfleischtaschen bis zur ausgeprägten Parodontitis marginalis progressiva mit den Folgen des Knochenabbaues und der Lockerung des Zahnes. Um diese Geschehnisse zu vermeiden, müssen nach BEECK (1), FAESCH (10), JUNG und HUPFAUF (18), KRAFT (24), SPRENG (41), VOß (46) und WEIKART (52) Verfärbungen und Korrosionserscheinungen, ausgelöst durch inhomogene, poröse und lunkerige Güsse mit ihren umfangreichen Auswirkungen auf das Parodont und das gesamte orale Milieu, unser besonderes Augenmerk herausfordern.

b) Anregung zu den Untersuchungen

Im folgenden werden in Anlehnung an Versuche verschiedener Autoren (BEECK, K.H. (1), FAESCH, Th. (10), FUCHS, K.D. (13), GRÜNDLER, H. (16), KYSELOVA, J., KYSELOVA, B. und MARES, J. (25), LOEBICH, O. (29), MAHLER, W. (30), MARX, H. (31), SCHUBERT, L. (38), SPRENG, M. (41), TAEGE, F. (43), VOß, R. (49)) durch Anwendung und Prüfung eines neuen Gußverfahrens, des HERAEUS-Vakuumdruckgusses, die mechanischen Eigenschaften und das Gußgefüge des Kronenrandes und Dekkels untersucht.

B Methode und Material

a) Beschreibung des Gußverfahrens

Zur Erprobung kam das Vakuumdruckgußgerät (CL-G) der Firma HERAEUS GmbH, Hanau, das mir freundlicherweise zu Versuchszwecken überlassen wurde (Abb. 1). Es stellt prinzipiell eine Kombination eines Druckgußverfahrens dar, angefangen mit TAGGART 1907, und eines Vakuumgußverfahrens, begonnen durch GÖRNER. Das HERAEUS-Vakuumdruckgußgerät beruht auf Untersuchungen und den daraus abgeleiteten Erfahrungen, die mit verschiedenen Gußgeräten, wie dem TRI-CAST-Gußapparat (WHIP-MIX) und dem industriellen Präzisionsguß, zum Beispiel für Turbinenschaufeln, gewonnen wurden. Der prinzipielle Unterschied zum historischen Vakuumgußverfahren, verknüpft mit den Namen von GÖRNER, ELGIN und ENGELHARDT, besteht darin, daß die Muffel nicht durch den Boden, also durch die Einbettmasse hindurch evakuiert wird, sondern über die Gußkanäle.

b) Beschreibung des Gußgerätes

Das CL-G-Gußgerät zeichnet sich in erster Linie durch seine einfache und sichere Handhabung aus. Neben eingebauten Bedienungs- und Kontrollelementen für die elektrische Beheizung sind Anzeigegeräte für Vakuum und Druckluft eingebaut. Vakuum und Druckluft werden über zwei Ventile gesteuert. Der Gießbehälter mit dem elektrisch beheizten Tiegelofen läßt die Verwendung handelsüblicher Gußmuffeln zu. Der Ofen mit Platinwicklung erreicht über $1\,350^{\circ}\text{C}$ und ist für alle Goldlegierungen, darüber hinaus für Keramikaufbrennlegierungen ausgelegt (Abb. 2). Das Gußmetall wird in einem Kohletiegel geschmolzen. Dies geschieht unter Kontrolle des Auges, um eine Überhitzung der Legierung zu vermeiden. Das aus dem Kohletiegel beim Erhitzen entstehende Kohlenmonoxid und Kohlendioxid

CO und CO_2 soll, wie BEECK (1) angegeben hat, die Oxidation des Metalls verhindern und die Reduktion bereits vorhandener Metalloxide herbeiführen. Das Kohlenmonoxid und das Kohlendioxid CO und CO_2 lagert sich über die geschmolzenen Legierungen und wirkt, wegen des vertikal angeordneten glühenden Kohletiegels und der damit fehlenden Konvektion, als Schutzgas (Abb. 3). Bei der klassischen horizontalen Stellung des Tiegels fließt das Kohlendioxid CO_2 aus, und die Schmelze befindet sich in Luft- CO_2 -Gemisch, so daß das Metall oxidieren kann (Abb. 3).

Das Evakuieren des gasdicht verschlossenen Behälters auf 3-10 TORR führt zu einer Entgasung des Gußhohlraumes direkt über die Gußkanäle und nicht durch den Muffelboden wie beim Vakuumsaugguß und ist damit unabhängig von der Porosität der Einbettmasse. Das Vakuum in der Muffel erübrigt das Anbringen von Luftabzugskanälen. Zusätzlich werden in der Schmelze möglicherweise gelöste Gase entfernt (MAHLER, W. (30), SCHMITT, K.H. (37)). Dies ist wünschenswert, da flüssige Metalle eine große Affinität und eine erhöhte Lösungsbereitschaft zu Gasen aller Art besitzen. Gelöster Sauerstoff oder Stickstoff könnte beim Erstarren des Gußobjektes als Gasporosität oder Mikrolunker zwischen den Korngrenzen in Erscheinung treten und damit den Erfolg des Gusses in Frage stellen.

Das Gießen wird durch Schwenken des Behälters um 180° herbeigeführt. Mitgerissene Kohlenstoffpartikel schwimmen ihres geringeren spezifischen Gewichtes wegen auf dem Gußkegel und können beim Gießen nicht in die Form gelangen. Das flüssige Metall füllt, allein der Schwerkraft folgend, die luftleere Gußhohlform bereits fast vollständig auf. Nur die feinauslaufenden Modellationen des Kronenrandes werden, durch die hohe Oberflächenspannung und Viskosität des Metalls

bedingt, nicht erfaßt (BEECK, K.H. (1), GRÜNDLER, H. (16), VOß, R. (49)). In diese Partien wird die Schmelze zusätzlich nachgepreßt, was die nach dem Schwenken des Gießbehalters automatisch erfolgende Preßluftzufuhr ermöglicht. Ein Durchschlagen des Muffelbodens oder das Abspringen von Einbettmasseanteilen durch die flüssige Legierung kann wegen des gleichmäßigen Druckes auf alle Seiten der Muffel nach den hydrodynamischen Gesetzen von TORRICELLI nicht vorkommen. Die Legierung erstarrt unter einem effektiven Druck von 4 at in der Weise, daß der Druck, der auf alle Seiten der Muffel einschließlich des Gußkegels gleichmäßig einwirkt, in dieser Hinsicht auch von einer Orientierung der Gußobjekte unabhängig macht. Dagegen ist beim Schleuderguß, durch die einseitig gerichtete Kraft der Beschleunigung bedingt, eine Ausrichtung entlang des Kraftvektors notwendig.

Der Gießbehälter wird wieder in die Ausgangssituation gebracht und entlüftet. Der Gußvorgang ist damit abgeschlossen.

c) Verwendete Legierungen

Mit dem beschriebenen Gußverfahren wurden drei verschiedene, unvergossene Legierungen der obengenannten Firma verarbeitet. Als Legierung für Normalgüsse wurde MAINGOLD G (Werksangabe HV₁ 130), als Speziallegierung für den Präzisionsguß und für Fräsarbeiten MAINGOLD OG (Werksangabe HV₁ 187) und HERADOR HART (Werksangabe HV₁ 270) als Aufbrennkeramiklegierung verwendet.

C Problemstellung

Die folgenden Untersuchungen über ein neues Gußverfahren, des HERAEUS-Vakuumdruckgusses, sollen die Frage klären, ob die damit hergestellten Kronen die notwendigen mechanischen und kristallographischen Eigenschaften eines hochwertigen prothetischen Ersatzes aufzuweisen haben. Die Ermittlung der VICKERS-Härte (HV) des Kronenrandes und Deckels und das Kristallisationsgefüge der Verschlußzone und des Okklusalbereiches wurden als Kriterien für eine werkstoffgerechte Verarbeitung der verwendeten Legierungen herangezogen.

D Versuchsanordnung

a) Herstellung der Kronenmodelle

Es werden 100 Kronen auf einem gedrehten und polierten Stahlstumpf mit DENTAURUM-Fräswachs hergestellt. Die Form des Stumpfes ermöglicht es, mit dem Modellierinstrument einen gleichbleibend starken, sehr glatten und scharfen Kronenrand zu erzielen (Abb. 4). Um eine konstante Form und Stärke der Wachsmodellationen, auch am Deckel und den Wänden, zu erreichen, werden die Gußobjekte mit einer selbsthergestellten Matrice vorgepreßt und lediglich am Rand nachgearbeitet (Abb. 5). Ein ähnliches Verfahren verwandte REITHER (35) in seinen Versuchen zur Gußtechnik. Am stärksten Höcker der idealisierten Molarenkrone wird ein 15 mm langer und 3,0 mm starker Gußkanal in der Modifikation nach FRITZ angebracht (VOß, R. (46)) (Abb. 6).

b) Einbetten und Gießen der Kronen

Unter Vakuum werden die Kronen für die MAINGOLD-Legierungen paarweise in KERR LUSTER-CAST eingebettet (BEECK, K.H. (1), BONSAK, Ch. (3), KIWKOWICZ, A.A. (19)). Nach dreistündigem Trocknen erfolgt das Ausbrennen in der Zeit von 30 min bei 300° C; das Vorwärmen in 60 min bei 650° C. Der Gußeinsatz beträgt 25 g Legierung pro Muffel. Fast ebenso wird mit den für die Legierung HERADOR HART vorgesehenen Wachskronen verfahren. Dazu wird wegen der Gipsfreiheit und möglichen Sulfatschäden vakuumangeführte AUROVEST-Einbettmasse verwendet, um der hohen Schmelztemperatur von HERADOR HART Rechnung zu tragen. Die getrockneten Muffeln werden 30 min bei 300° C ausgebrannt und 60 min bei 750° C vorgewärmt. Der Materialeinsatz beträgt ebenfalls 25 g Legierung pro Muffel. Nach GRÜNDLER (16) ist ein gleichmäßiges, langsames Abkühlen für ein einwandfreies Kristallisationsgefüge von ausschlaggebender Bedeutung. Deshalb ließen wir die Muffeln bei Raumtemperatur langsam erkalten. Auf exakte Ausführung und Einhaltung aller Zeiten und Temperaturen muß Wert gelegt werden, um Vorstellungen, wie DREYER-JÖRGENSEN (8) sie angibt, zu entsprechen.

Nach dem Ausbetten werden die gegossenen Kronen durch Abstrahlen von den anhaftenden Einbettmasseresten gereinigt und die Oxidschicht durch Absäuern in 10%iger Schwefelsäure entfernt (Abb. 7 und 8). Nach Beendigung all dieser Arbeitsgänge konnte mit den Voruntersuchungen der noch nicht durchtrennten und geätzten Kronen begonnen werden. Ausschließlich die mit HERADOR HART gegossenen Kronen wurden zusätzlich 20 min bei 600° C vergütet.

c) Prüfverfahren

Die Voruntersuchungen wurden mit einem Biocular bei 40facher Vergrößerung, der Rand, sowie die Gußgefügebestimmungen mit einem LEITZ-Auflichtmikroskop bei 100facher Vergrößerung durchgeführt. Das dazu notwendige Durchtrennen der Kronen erfolgte mittels einer Metallsäge in okklusar-cervikaler Richtung. Anschließend wurden die beiden Hälften in TECHNOVIT (KULZER & CO., Bad Homburg) eingebettet, unter Wasserkühlung bis zu einer Körnung von $0,25 \mu$ geschliffen, poliert und geätzt.

Zur Grundlage dieser Arbeit wurde die Feststellung der Härte des Kronenrandes und Deckels, nach der Methode von VICKERS (DIN-Norm 51 200), und die Auswertung des Gußgefüges, nach der Korngrößenrichtreihe der American Society for Testing Materials (ASTM), eben dieser beiden Bereiche, herangezogen (Abb. 13, 14, 15, 16, 17). Zur Bestimmung der Härtewerte wurde ein Mikrohärteprüfgerät nach VICKERS mit einer Belastung von 1 kp (HV_1) verwandt. Die VICKERS- oder Pyramidenhärte ergibt sich aus dem Verhältnis der Belastung zur Oberfläche des Eindrucks einer vierseitigen Diamantpyramide bestimmter Form. Die Belastung bis 300 kp/mm^2 ist dabei prinzipiell ohne Bedeutung, da die Härtewerte davon unabhängig sind, jedoch erzwingt die geringe Dimensionierung des Kronenrandes eine nicht zu große Eindruckdiagonale, um die Messung nicht zu verfälschen. Die Materialstärke der Probe muß dabei mindestens die dreifache Eindruckdiagonale betragen.

Die zu prüfenden Gußkronen wurden gedanklich in vier Sektoren aufgeteilt, und zwar so, daß jeweils zwei Meßbereiche (A und B) in direkter Nähe des Randes und zwei Prüffelder (C und D) am Übergang des Kronendeckels in die Außenwände sich befanden. An den Punk-

ten A, B, C und D wurden jeweils drei Messungen durchgeführt (nach DIN-Norm 50 150) (Abb. 6).

E Ergebnisse

a) Voruntersuchungen

Die Voruntersuchungen konzentrieren sich weitestgehend auf die Paßform der Gußkronen auf dem stählernen Modellstumpf und die mikroskopische Oberflächenbeschaffenheit der Wände des Deckels und speziell des Randes der gegossenen Kronen. Die Paßform auf dem Metallstumpf war zufriedenstellend. Lediglich ein Mikropalt unter $20\text{ }\mu$ war zu erkennen (DREYER-JÖRGENSEN, K. (8), KÖRBER, K.H. und LENZ, P. (21)). Unter dem Biocular bei 40facher Vergrößerung konnten am Deckel, in den Fissuren und Wänden der Kronen nur geringfügige Oberflächenrauhigkeiten im Bereich von $2 - 8\text{ }\mu$ (BEECK, K.H. (1), BOLOURI, A. und MARXKORS, R. (2), GRABL, J.F. (14), KIWKOWICZ, A.A. (19)) - die, wie GRABL (14) beschreibt, aber primär durch die Einbettmasse bedingt sind - vereinzelte Mikroporositäten und zwei mit dem bloßen Auge sichtbare Lunker festgestellt werden.

Der Kronenrand wurde mit dem LEITZ-Auflichtmikroskop bei 100facher Vergrößerung auf Zähnelung, Porositäten und Lunker untersucht. Es zeigte sich, daß sich alle Kronenränder außergewöhnlich scharf, glattrandig und homogen darstellten (Abb. 9, 10, 11, 12). Nach diesen Voruntersuchungen wurden die gegossenen Kronen wie beschrieben in okklusall-cervikaler Richtung durchtrennt und die Härtemessungen durchgeführt.

b) Härtewerte

Die Ergebnisse der Härteprüfungen mit ihren insgesamt 2 400 Werten zeigen die folgenden Tabellen auf den Seiten 34 - 44.

c) Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung zur Bestimmung der Signifikanz des erarbeiteten Zahlenmaterials erfolgte nach der Formel:

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum x^2 - Mx^2 \cdot n}{n-1}}$$

x = Härtewerte, Mx = arithmetisches Mittel der Härtewerte, n = Anzahl der Härtewerte.

Die Ergebnisse zeigen die Tabellen auf den Seiten 45 - 48.

d) Korngrößenbestimmung

Die Beziehung der Härtewerte der Gußkronen zu den folgenden Untersuchungen des Gußgefüges und der Kornzahl an Hand einer Korngrößenrichtreihe ergibt sich aus der Proportionalität der Kornzahl zur Härte eines Metalls, denn je größer die Kornzahl ist, um so härter erscheint die jeweilige Legierung. Zur Ermittlung der Kornzahlen der Kronenschliffe fand das einfache, doch präzise optische Verfahren der American Society for Testing Materials (ASTM) (SCHUMANN, H. (40)) Verwendung. An Hand der hier

gegebenen Korngrößenrichtreihe konnten die Kronenschliffe nach ihrer Korngröße bzw. Kornzahl eingestuft werden. Der Vergleich des Schliffbildes mit der ASTM-Richtreihe erfolgte nach einem genau festgelegten Abbildungsmaßstab und Bildausschnitt. Hierbei wurde die Tatsache ausgenutzt, daß das menschliche Auge Unterschiede genauer festlegen kann als absolute Werte. Die Gefügebeurteilung mittels Richtreihe ergibt sich aus dem Vergleich des zu prüfenden Gefüges mit einer Reihe ähnlicher, aber hinsichtlich der zu beurteilenden Merkmale abgestuften Gefügevorbilder. Das zu ermittelnde Kronengefüge erhält die Nummer des entsprechenden Richtreihenvorbildes. Dabei gibt die ASTM-Korngröße Nr. 1 bei 100facher Vergrößerung ein Korn an, dessen Querschnitt gerade 1 Quadratzoll beträgt. Die folgenden Normgrößen 2 - 10 entsprechen den Quadraten der Kornzahl der vorausgegangenen ASTM-Nummer (Abb. 17). Einen absoluten Aussagewert besitzt die Kornzahl allerdings nur dann, wenn die Entwicklungsgeschichte der Probe, also die Art der Erschmelzung und der Desoxidation sowie eine mögliche nachträgliche Behandlung, bezogen auf eine Vergütung oder Verformung des Materials, bekannt ist. Die 200 hergestellten Kronenschliffe sind unter diesen Gesichtspunkten untersucht und ausgewertet worden (Abb. 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28) (Tab. 17).

e) Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung ergeben die Tabellen auf den Seiten 49 - 53.

F Diskussion

a) Vor- und Nachteile des Gußverfahrens

Der HERAEUS-Vakuumdrukguß bestätigt an Hand der Ergebnisse im Prinzip die Erwartungen in bezug auf die Härte und die Kornzahlen, die in ihn gesetzt werden dürfen. Fehler ähnlicher, früherer Konstruktionen, wie die verfahrensbedingt zu klein dimensionierten Gußkanäle, auf die MARX (31) und GRÜNDLER (16) aufmerksam machten, konnten beseitigt werden. Alle 100 Kronen flossen vollständig und sauber aus, was auf einen in seiner Größe ausreichenden Preßluftdruck zur Überwindung der Oberflächenspannung der Legierung schließen läßt. Mögliche Schwindungslunker können aber, wie die Arbeiten von REISS und KRON (34) beweisen, durch solche Druckverhältnisse nicht verhindert werden. In ihren Gußversuchen mit Druckverhältnissen von 3 500 - 7 000 at konnten diese beiden Autoren ihre Gußobjekte kaum dicht, d. h. absolut poren- und lunkenfrei, speisen. Auch der fein ausmodellerte Kronenrand der Wachsvorlagen wurde exakt reproduziert. Kohlenstoffeinschlüsse aus dem Tiegel, wie sie häufig beim Schleuderguß beobachtet werden können, wurden erwartungsgemäß nicht gefunden, da Kohlepartikel, auf dem flüssigen Gußkönig schwimmend, nicht in das Gußobjekt mitgerissen werden. Überraschend war das Auffinden der zwei Gaseinschlüsse, die möglicherweise auf Turbulenzen beim Einschießen der Preßluft in den evakuierten Gießbehälter und das Unterwandern der noch flüssigen Legierung zurückzuführen sind. Ähnliche Erfahrungen haben wahrscheinlich BEECK (1), FAESCH (10), GRÜNDLER (16), MARX (31) und SPRENG

(41) gemacht, wenn sie, zu ihrer meist ablehnenden Haltung dem Luftdruckguß gegenüber kommen, der ihrer Ansicht nach porenreicher ist als andere Gußverfahren, während amerikanische Autoren (CRAWFORD, W.H. (4), PHILLIPS, R.W. (33)) den Vakuumdruckguß für das vom Gußergebnis her bessere Verfahren halten. Makroporositäten und sichtbare Lunker konnten bis auf wenige Ausnahmen nie festgestellt werden, doch wie auch GRÜNDLER (16) und Mitarbeiter (13) sowie MARX (31) berichten, fanden sich um den Gußkanalansatz herum bei wenigen Kronen Mikroporositäten und Kleinstlunker in größerer Zahl und bestimmter Anordnung. Entscheidend für die Qualität der Güsse ist jedoch die hohe Kornzahl und die daraus resultierenden guten mechanischen Eigenschaften (KRAFT, E. (22), LOEBICH, O. (28), RITZE, H. (36), WEIKART, P. (52)). Sehr feinkörnige Gefüge sind gerade für subtile, mechanischen Beanspruchungen stark ausgesetzten Arbeiten notwendig. Der innigen Verzahnung feinkörniger Gefüge entspringt die Erkenntnis größerer Homogenität und besserer Zähigkeit. Außerdem lagern sich die in den Legierungen immer enthaltenen Verunreinigungen an den Korngrenzen ab. Ist das Kristallisationsgefüge aber entsprechend feinkörnig, so ergibt sich für die gleiche Menge an Verunreinigungen eine dünnere Zwischenschicht innerhalb des Gefüges als bei grobkörnigen Kristallisationen und diesbezüglich eine höhere chemische und mechanische Beanspruchbarkeit (WEIKART, P. (52)).

Die Kornzahl ist prinzipiell unabhängig vom Gießverfahren und ausschließlich eine Funktion der Temperatur der Schmelze, der Legierungszusammensetzung, der Erstarrungsgeschwindigkeit und der Temperatur der Muffel (BONSACK, Ch. (3), GRÜNDLER, H. (16), LOEBICH,

O. (28), RITZE, H. (36), WAGNER, E. (50), WEIKART, P. (52)). Jedoch ist technisch die Temperatur der geschmolzenen Legierung und die Erstarrungsgeschwindigkeit nicht hinreichend leicht modifizierbar.

So muß der relative Kaltguß beim Vakuumdruckguß in eine 650°C (MAINGOLD G und MAINGOLD OG) bzw. 750°C (HERADOR HART), also um 100°C niedriger vorgewärmte Muffel als normalerweise üblich, für das kornreiche Gußgefüge ausschlaggebend sein. Auf diese Aspekte der Gußverbesserungen machten BONSACK (3), LOEBICH (28), MARX (31), RITZE (36), WAGNER (50) und WEIKART (52) aufmerksam. Es ergaben sich für die MAINGOLD G Legierung eine Kornzahl am Rand und im Okklusionsbereich von durchschnittlich 1 536 Körnern pro mm^2 , entsprechend der ASTM-Norm von 7,5. Dies bedeutet, daß der Rand einer Krone von 1 mm Stärke im Durchschnitt 39 - 40 Körner aufweist. Für die MAINGOLD OG Legierung ergaben sich ähnliche Ergebnisse. Sie wies eine ASTM-Norm von 10, entsprechend 8 192 Körnern pro mm^2 , auf - bei einem Kronenrand von 1 mm Stärke 90 - 91 Körner im Durchschnitt. HERADOR HART konnte unter ASTM-Norm 8, entsprechend 2 048 Körnern pro mm^2 , eingereiht werden. Für einen Kronenrand von 1 mm Stärke bedeutet dies 45 - 46 Körner im Durchschnitt (Abb. 17). Diese Kornzahlen, sowohl am Kronenrand als auch in der Okklusionsfläche gefunden, lassen ausreichende mechanische und werkstoffkundliche Eigenschaften bezüglich den Forderungen von (LOEBICH, O. (28), RITZE, H. (36), WEIKART, P. (52)) für das Parodont und das gesamte orale Milieu vermuten. Die ermittelten Härtewerte von $141,461\text{ kp/mm}^2$ für MAINGOLD G, $242,461\text{ kp/mm}^2$ für MAINGOLD OG und $258,661\text{ kp/mm}^2$ für HERADOR HART vervollständigen diese Ansicht.

b) Schlußfolgerungen aus den Ergebnissen

Bemerkenswert ist, daß sich keine statistisch gesicherten Unterschiede der Kronenrandhärte ($A + B$) und der Härte des Kronendeckels ($C + D$) ergeben haben ($A = B = C = D$). Nach den Überlegungen von CHVORINOV über die Erstarrungszeiten und Richtungen an Hand der wirksamen Oberflächen $(\frac{V}{O})^2$ von Kronen beim Erkalten müßte sich aber zuerst Kronenrand und darauffolgend Kronendeckel, Gußkanal und Gußkönig verfestigen. Dies würde bedeuten, daß die Erstarrungsgeschwindigkeit der Randzone größer ist als die des Deckels, und damit die Randzone sich härter darstellt als der Bereich der Okklusalfäche. Diese Ansicht konnte mit den erarbeiteten Ergebnissen nicht bestätigt werden.

Auch die Gußgefügeauswertungen und die sich daraus ergebenden Kornzahlen zeigten keine signifikanten Unterschiede innerhalb der gegossenen Krone ($Mx_R = Mx_D$). Die sich anbietende Konsequenz ist, daß für das gesamte Gußobjekt eine sehr hohe Erstarrungsgeschwindigkeit vorliegt und somit keine erkennbaren Härte- und Gußgefügeunterschiede zustande kommen. Dafür sprechen auch die großen Kornzahlen, die nach WEIKART (52) der Kristallisationsgeschwindigkeit direkt proportional sind. Von der Erstarrungsrichtung muß trotzdem angenommen werden, daß sie vom Gußobjekt zum System Gußkanal-Gußkönig hin verläuft, da sonst in den Kronen Schwindungslunker in großer Zahl auftreten müßten. Derartige Veränderungen konnten wir nicht feststellen. Die Schlifffbilder sind frei von eindeutigen Schwindungslunkern, die auf ein solches Geschehen Rückschlüsse ziehen lassen würden.

Inwieweit die bei wenigen Kronen beobachteten Porosi-

täten am Gußkanalansatz auf die Dimensionierung und die Stellung des Gußkanals (BEECK, K.H. (1), DEGUSSA (5), FRITSCH, C., ELBRECHT, A. und NOWACK, L. (11), KYSELOVA, J., KYSELOVA, B. und MARES, J. (26), LOEBICH, O. (29)) oder die Erstarrungsrichtung des Gußverfahrens zurückzuführen sind, sei hier nicht erörtert. Darüber müssen spätere Untersuchungen Aufschluß geben. Ebenso interessant wäre ein Vergleich der Ergebnisse des allgemein üblichen Schleudergußverfahrens mit denen des Vakuumdruckgusses unter denselben Bedingungen.

G Zusammenfassung

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die mit dem Vakuumdruckgußgerät und drei verschiedenen Gußlegierungen, MAINGOLD G, MAINGOLD OG und HERADOR HART der Firma HERAEUS GmbH, Hanau, hergestellten 100 Gußkronen von ausreichender Präzision und Homogenität waren. Die Paßform der gegebenen Kronen auf dem verwendeten Stahlstumpf genügte der zu fordernden Genauigkeit bezüglich der Reizlosigkeit eines in das orale Milieu gebrachten Ersatzes. Die bei 40- bzw. 100facher Vergrößerung vorgenommenen Untersuchungen zur Feststellung der Oberflächenbeschaffenheit in Beziehung auf Rauigkeiten, Porositäten und Lunker waren zufriedenstellend. Den werkstoffkundlichen Gesichtspunkten wurde hauptsächlich durch die 2 400 Härtemessungen nach VICKERS (HV₁) und den 200 Gußgefügeuntersuchungen der erarbeiteten Kronenschliffe Rechnung getragen. Die Kornzahlbestimmung zur Ermittlung der mechanischen Beanspruchbarkeit erfolgte durch den Vergleich der erstellten Gußgefüge mit den Korngrößenrichtreihen der American

Society for Testing Materials (ASTM). Dabei wurde die Erkenntnis berücksichtigt, daß ein feinkörniges Gußgefüge eine höhere chemische Resistenz im Diffusionsverhalten und gegen etwaige Spannungskorrosionen sowie bessere mechanische Eigenschaften, in bezug auf Härte und Elastizitätsmodul, besitzt. Die statistische Gleichheit der Härtewerte am Kronenrand und der Okklusalfäche, die im Widerspruch zu den Forderungen CHEVORINOVs steht, wurde durch die hohe Erstarrungsgeschwindigkeit zu erklären versucht.

Ein Vergleich zwischen Schleuderguß und Vakuumdruckguß wurde nicht durchgeführt.

Abb. 1

Vakuumdrukgußgerät (CL-G) und Vorwärmofen der Firma HERAEUS GmbH, Hanau.

Abb. 2

Schematischer Schnitt durch das Vakuumdrukgußgerät.

- Abb. 3 Schematische Darstellung des vertikal
angeordneten Kohletiegels mit CO und
CO₂ Schutzgas gefüllt.
- Abb. 4 Gedrehter und polierter Stahlstumpf
mit Konus zur exakten Randmodellation.
- Abb. 5 Wachskrone auf Modellstumpf.

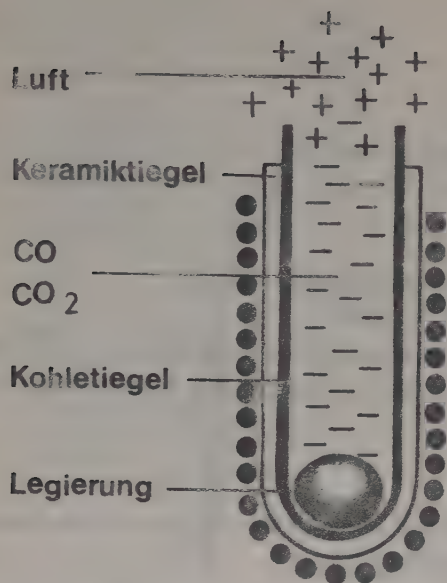


Abb. 3

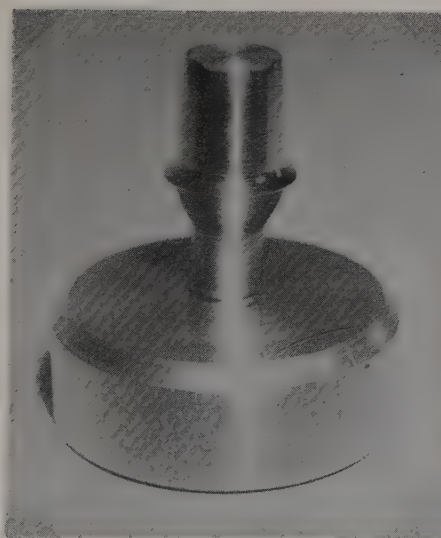


Abb. 4



Abb. 5

- Abb. 6 Ansatz des Gußstiftes mit Härter-
beizflächen am Rand A + B und Deckel
C + D.
- Abb. 7 Gegossene Krone abgestrahlt und Oxid-
schicht entfernt auf Modellstumpf.
- Abb. 8 Krone ausgearbeitet und poliert auf
Modellstumpf.

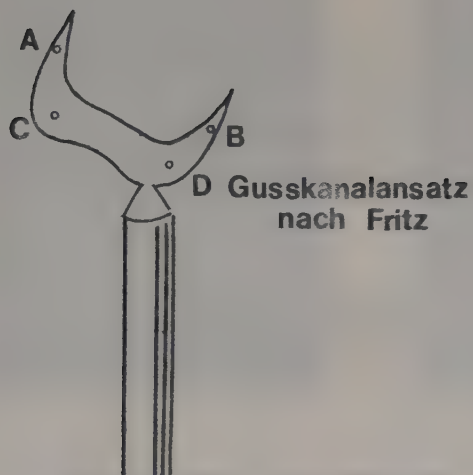


Abb. 6



Abb. 7



Abb. 8

Abb. 9 Außenrand der Krone von Abb. 7
MAINGOLD OG Vorwärmtemperatur 650° C
1^h Einbettmasse KERR LUSTER-CAST
Vergrößerung 100x, 1 cm = 100 μ

Abb. 10 Innenrand der Krone von Abb. 7
Vergrößerung 100x, 1 cm = 100 μ

Abb. 11 Außenrand der Krone von Abb. 8
MAINGOLD OG Vorwärmtemperatur 650° C
1^h Einbettmasse KERR LUSTER-CAST
Vergrößerung 100x, 1 cm = 100 μ

Abb. 12 Innenrand der Krone von Abb. 8
Vergrößerung 100x, 1 cm = 100 μ



Abb. 9



Abb. 10

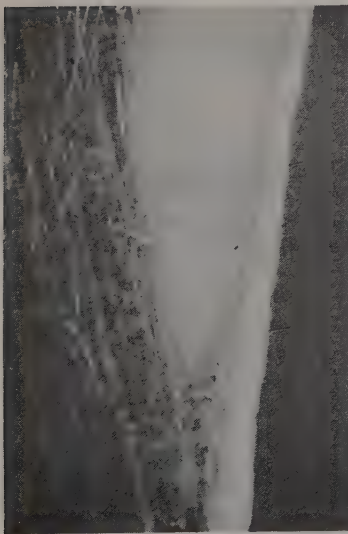


Abb. 11

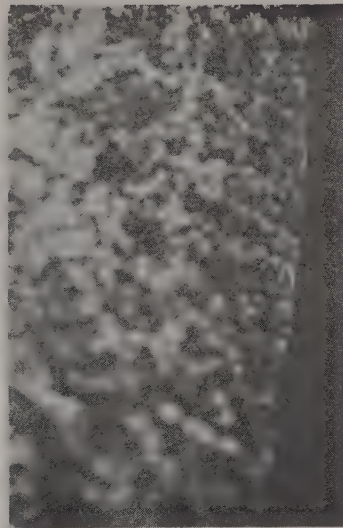


Abb. 12

- Abb. 13 Korngrößenrichtreihenvorbild der
American Society for Testing
Materials (ASTM).
ASTM-Korngröße Nr. 7
- Abb. 14 ASTM-Korngröße Nr. 8
- Abb. 15 ASTM-Korngröße Nr. 9
- Abb. 16 ASTM-Korngröße Nr. 10
- Abb. 17 Tabelle zur Umrechnung der ASTM-
Korngrößen in metrische Maße mit
Anzahl der Körner je mm^2 .

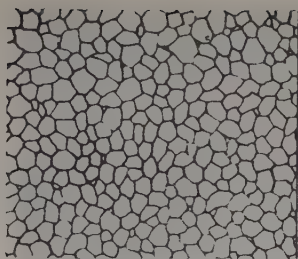


Abb. 13

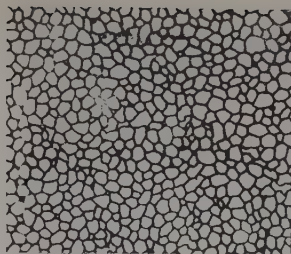


Abb. 14

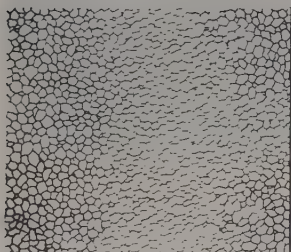


Abb. 15

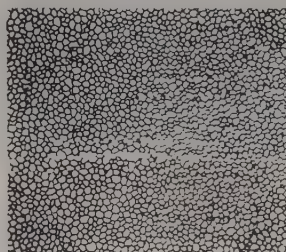


Abb. 16

Umrechnung der ASTM-Korngröße in metrische Maße

ASTM-Nr.	Körner je Quadratzoll (Abbildungemaßstab: $V = 100:1$)	Körner je mm ²
1	1	16
2	2	32
3	4	64
4	8	128
5	16	256
6	32	512
7	64	1024
8	128	2048
9	256	4096
10	512	8192

Abb. 17

- Abb. 18 Schliffbild HERADOR HART Vergrößerung
100x, Au-Ätzmittel vergütet 20 min
bei 600° C.
- Abb. 19 Schliffbild HERADOR HART Vergrößerung
100x, Au-Ätzmittel vergütet 20 min
bei 600° C.
- Abb. 20 Schliffbild HERADOR HART Vergrößerung
100x, Au-Ätzmittel vergütet 20 min
bei 600° C.
- Abb. 21 Schliffbild HERADOR HART Vergrößerung
100x, Au-Ätzmittel vergütet 20 min
bei 600° C.

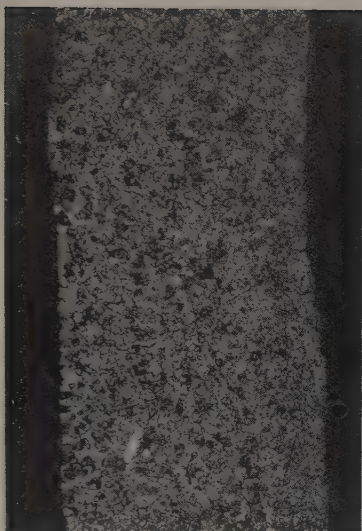


Abb. 18

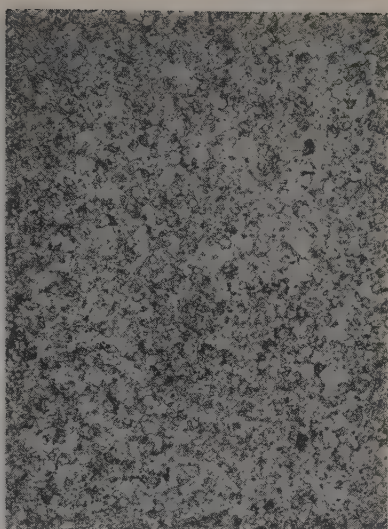


Abb. 19

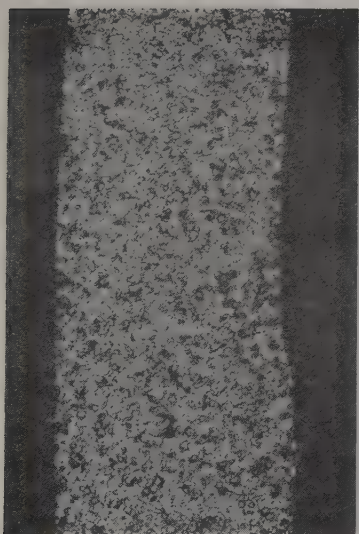


Abb. 20

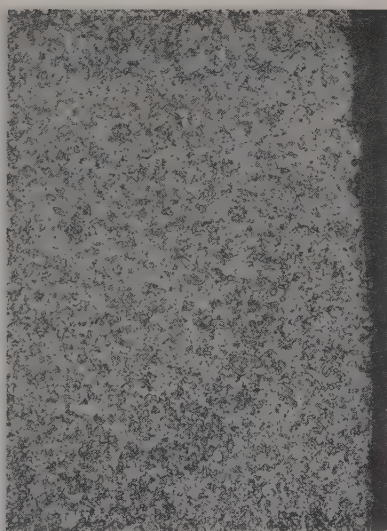


Abb. 21

- Abb. 22 Schliffbild HERADOR HART Vergrößerung
100x, Au-Ätzmittel vergütet 20 min
bei 600° C.
- Abb. 23 Schliffbild MAINGOLD OG Vergrößerung
100x, Au-Ätzmittel mit Eindruck der
VICKERS-Härte (HV_1).
- Abb. 24 Schliffbild MAINGOLD OG Vergrößerung
100x, Au-Ätzmittel mit Eindruck der
VICKERS-Härte (HV_1).

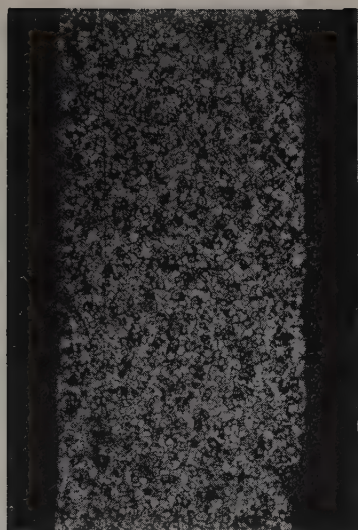


Abb. 22

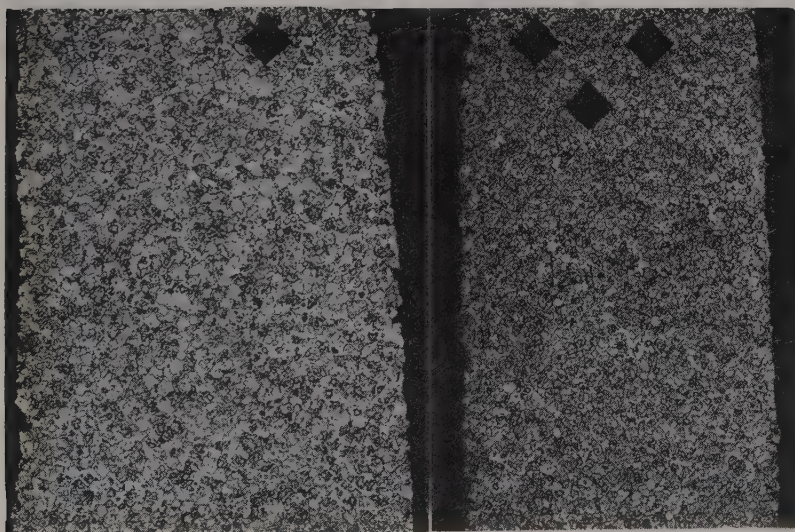


Abb. 23

Abb. 24

Abb. 25 Schliffbild MAINGOLD G Vergrößerung
100x, Au-Ätzmittel.

Abb. 26 Schliffbild MAINGOLD G Vergrößerung
100x, Au-Ätzmittel.

Abb. 27 Schliffbild MAINGOLD G Vergrößerung
100x, Au-Ätzmittel.

Abb. 28 Schliffbild MAINGOLD G Vergrößerung
100x, Au-Ätzmittel.



Abb. 25



Abb. 26



Abb. 27



Abb. 28

HÄRTEMESSUNG NACH VICKERS

Herador H verg. - HV₁ (Kp/mm²)

	A	B	C	D		A	B	C	D
1	263	258	266	248		267	258	257	260
	267	245	260	261		268	261	239	257
	266	239	263	259		263	263	257	263
2	263	247	263	267		255	267	260	261
	265	256	262	257		260	263	245	253
	266	248	260	253		255	265	248	242
3	270	264	263	261		267	267	239	245
	245	260	263	266		266	261	263	257
	258	267	260	263		261	270	261	259
4	245	261	260	242		269	262	259	253
	270	259	259	261		265	258	245	248
	247	255	265	267		261	245	263	239
5	260	257	261	257		254	264	257	259
	263	262	257	245		258	232	260	239
	264	267	253	260		258	260	262	248
6	269	269	257	261		267	257	248	257
	258	259	263	257		263	239	260	245
	261	269	248	239		267	258	242	253
7	262	259	248	260		255	263	253	257
	259	257	261	262		251	267	261	255
	257	254	259	260		267	266	265	254
8	267	269	267	261		268	259	266	248
	269	267	257	257		263	239	259	251
	269	267	253	248		262	245	261	248
9	266	239	261	257		263	268	248	251
	263	245	266	263		259	263	257	260
	259	255	257	257		264	264	263	245
10	266	248	245	261		255	232	257	239
	259	242	260	260		261	257	261	257
	269	263	261	260		257	239	260	232

HÄRTEMESSUNG NACH VICKERS

Herador H verg. - HV_1 (Kp/mm²)

	A	B	C	D		A	B	C	D
11	265 259 263	257 260 264	248 260 267	262 264 261		262 260 258	251 255 262	241 266 269	275 265 272
12	266 264 260	262 257 259	261 260 260	251 254 253		265 247 264	261 224 257	276 227 269	284 257 265
13	267 261 265	263 264 254	257 261 260	253 258 255		260 258 266	259 264 253	262 266 265	276 269 237
14	262 224 251	266 264 257	260 258 249	248 239 248		262 259 254	265 260 262	285 257 248	260 237 257
15	260 257 263	260 257 253	269 256 254	257 259 256		258 257 258	258 259 256	267 247 239	257 272 269
16	262 264 254	258 260 259	256 261 260	267 257 255		251 257 259	255 257 247	272 263 237	285 254 254
17	257 257 254	258 256 261	259 263 262	254 261 248		256 255 265	260 253 254	245 254 263	245 263 254
18	258 257 261	258 266 258	258 263 253	254 258 254		263 258 262	261 261 251	239 242 219	254 254 245
19	258 257 253	261 257 262	257 263 266	266 262 262		247 266 258	258 261 262	245 265 234	237 269 263
20	266 262 262	265 258 254	251 251 251	239 266 245		257 259 262	260 257 253	241 269 263	272 272 257

HÄRTEMESSUNG NACH VICKERS

Herador H verg. - HV_1 (Kp/mm^2)

	A	B	C	D	A	B	C	D
21	260	263	254	260	263	269	267	239
	260	260	239	257	269	260	260	245
	263	260	251	272	254	269	248	241
22	261	263	242	269	272	266	237	273
	251	251	251	237	269	266	239	264
	263	257	229	254	269	251	257	265
23	257	251	239	254	269	269	272	237
	255	260	245	245	263	276	272	257
	257	272	266	239	269	269	263	265
24	251	269	265	251	269	266	269	245
	257	251	245	239	269	232	237	251
	250	257	234	239	254	239	285	245
25	272	260	241	265	257	260	245	269
	272	251	241	245	257	257	254	269
	239	251	266	241	257	239	254	265
26	234	254	269	266	272	269	254	248
	263	266	269	263	260	260	263	239
	254	260	263	276	236	242	245	237
27	272	269	276	263	269	263	239	254
	251	266	273	269	260	251	251	254
	269	260	227	284	263	272	219	263
28	262	258	263	266	251	260	239	263
	251	239	269	265	272	266	265	263
	269	251	272	281	254	260	245	251
29	288	278	262	269	262	278	241	269
	278	276	284	248	278	269	266	251
	269	277	266	260	264	266	263	251
30	272	262	257	248	269	269	276	266
	286	269	265	257	260	266	263	258
	264	276	265	272	269	266	269	239

HÄRTEMESSUNG NACH VICKERS

Herador H verg. - HV₁ (Kp/mm²)

	A	B	C	D	A	B	C	D
31	263 260 239	269 276 266	285 276 257	269 237 254	269 257 260	260 260 260	284 266 265	262 269 276
32	260 239 248	254 254 242	269 248 237	254 245 263	263 257 257	257 269 251	285 269 248	266 242 269
33	263 263 251	263 263 251	253 241 253	261 252 243	269 239 260	269 276 277	241 259 274	263 255 282
34	260 272 257	260 272 257	221 253 241	235 261 270	263 264 269	267 268 276	270 265 271	270 261 271
35	257 260 259	260 254 266	247 268 267	237 246 265	278 251 262	249 258 269	239 283 247	261 267 239
36	266 266 260	266 260 251	247 236 243	246 255 283	272 259 239	260 251 251	256 256 256	232 263 243
37	260 251 277	278 262 269	243 268 271	263 264 260	272 271 257	251 267 253	265 247 241	227 240 237
38	262 269 276	276 266 242	271 265 274	267 225 274	251 257 263	257 260 260	221 267 243	249 249 243
39	266 242 269	269 266 266	275 229 265	267 264 239	263 260 260	263 251 272	265 265 282	263 243 239
40	269 266 266	276 266 239	271 274 264	243 264 237	251 257 272	260 266 260	267 271 262	267 261 274

HÄRTEMESSUNG NACH VICKERS

Herador H verg. - HV_1 (Kp/mm^2)

	A	B	C	D		A	B	C	D
41	239	260	282	249		263	278	259	270
	260	269	268	248		269	269	271	264
	269	260	259	249		288	266	256	263
42	260	242	267	243		268	269	247	274
	242	260	267	252		286	266	253	267
	239	239	283	252		239	266	241	246
43	257	257	274	283		263	260	247	265
	232	234	259	267		269	260	268	235
	269	269	271	270		269	263	278	255
44	269	269	250	255		257	260	271	270
	251	251	239	235		239	257	268	261
	269	269	269	258		261	254	287	283
45	260	260	262	235		255	266	250	252
	254	254	250	267		250	251	250	252
	254	254	239	274		234	262	274	261
46	258	265	241	249		284	268	267	274
	258	260	244	249		262	252	274	259
	249	255	253	217		237	258	267	250
47	261	258	241	243		258	264	246	262
	255	270	267	264		261	264	265	239
	249	249	236	243		267	267	235	241
48	270	249	243	239		267	267	255	274
	270	252	268	267		267	241	270	271
	261	268	271	267		267	258	261	275
49	252	267	265	274		267	241	283	247
	267	260	268	261		255	258	252	256
	260	253	229	270		255	261	252	242
50	260	276	274	260		270	253	261	263
	236	275	276	264		258	253	252	267
	276	274	268	263		267	271	243	269

HÄRTEMESSUNG NACH VICKERS

Maingold OG - HV₁ (Kp/mm²)

	A	B	C	D		A	B	C	D
1	251 205 242	248 242 242	232 226 245	229 242 234		242 242 239	239 229 237	251 251 239	253 205 241
2	229 229 263	260 251 245	237 242 254	239 263 254		239 239 256	229 251 295	239 245 234	242 247 236
3	251 266 242	257 197 239	242 248 234	242 237 239		245 254 248	259 239 245	231 236 245	238 253 238
4	239 232 229	242 260 239	248 245 254	239 242 240		257 239 234	239 230 234	236 242 239	247 241 244
5	226 242 245	239 234 248	242 248 241	254 242 239		248 245 245	239 242 251	260 236 237	239 234 242
6	234 237 239	245 239 239	248 243 244	236 237 245		237 232 242	251 256 242	239 226 241	231 239 262
7	242 263 239	245 237 232	231 242 234	232 225 245		248 251 245	245 248 215	236 244 225	238 239 241
8	239 239 251	256 245 242	239 263 245	237 242 245		217 242 229	232 245 248	237 237 235	238 240 237
9	234 239 242	248 254 248	252 253 240	233 237 246		263 264 242	256 257 239	252 246 246	240 243 232
10	242 245 237	251 245 242	239 246 236	237 243 240		239 242 251	248 245 251	252 248 260	240 259 246

HÄRTEMESSUNG NACH VICKERS

Maingold OG - HV₁ (Kp/mm²)

	A	B	C	D	A	B	C	D
11	239 229 237	242 250 197	242 251 256	251 242 234	251 251 242	253 256 212	239 248 245	239 242 239
12	229 251 245	232 257 245	243 244 256	248 245 250	239 251 232	233 247 257	251 245 245	229 228 242
13	254 239 245	239 242 234	242 245 248	247 251 248	237 239 234	248 266 237	251 256 245	232 237 248
14	239 230 234	245 244 239	215 232 245	248 242 234	247 251 247	238 250 250	254 232 242	239 245 234
15	239 242 251	233 243 254	248 256 237	251 245 245	254 245 244	254 233 255	217 242 254	239 242 242

HÄRTEMESSUNG NACH VICKERS

Maingold G - HV₁ (Kp/mm²)

	A	B	C	D	A	B	C	D
1	163	180	168	167	143	155	122	123
	158	177	168	173	144	158	135	125
	173	178	175	168	124	128	158	123
2	171	171	168	164	130	165	171	158
	171	171	167	163	132	175	175	171
	170	171	165	165	128	171	171	165
3	170	160	164	162	177	162	173	170
	165	156	165	163	162	171	165	170
	165	170	165	164	172	173	170	171
4	165	176	170	162	175	171	171	172
	168	168	168	163	180	170	138	168
	161	168	158	170	174	171	169	124
5	172	162	165	175	171	136	165	174
	168	170	168	158	157	165	165	139
	168	171	163	145	136	165	164	126
6	171	171	171	129	152	144	125	126
	162	165	128	127	139	133	131	133
	164	171	128	155	152	123	140	117
7	155	130	129	127	167	155	124	134
	140	145	145	136	173	155	129	123
	148	128	143	142	117	134	117	129
8	185	165	173	177	139	153	134	139
	166	168	165	177	132	145	140	129
	162	173	148	128	143	147	140	129
9	177	171	139	178	148	143	125	156
	172	171	173	148	170	152	150	145
	168	173	165	169	153	139	170	143
10	177	129	124	124	175	158	124	132
	178	127	145	137	171	167	145	132
	178	124	135	149	164	124	144	124

HÄRTEMESSUNG NACH VICKERS

Maingold G - HV₁ (Kp/mm²)

	A	B	C	D	A	B	C	D
11	169	162	165	171	153	120	168	124
	171	171	175	175	156	127	173	151
	170	125	170	175	123	125	177	119
12	171	165	162	170	140	118	151	139
	167	126	164	105	134	118	120	125
	170	165	162	156	167	127	127	121
13	171	165	165	154	123	121	170	120
	168	168	168	159	145	139	120	167
	173	172	164	124	136	118	159	168
14	171	172	167	144	125	117	164	126
	165	169	175	149	119	120	171	125
	165	167	138	143	128	119	124	115
15	120	119	173	117	123	120	132	125
	150	124	168	117	130	120	123	125
	125	125	167	125	128	131	119	125
16	123	117	126	126	121	171	140	123
	126	123	123	165	126	165	122	123
	154	119	121	174	126	162	131	121
17	115	120	129	171	139	165	123	123
	111	117	127	172	123	163	119	125
	126	113	122	125	159	170	118	163
18	124	122	145	156	125	169	120	164
	126	128	121	134	129	167	129	131
	128	120	120	139	128	129	120	120
19	123	130	123	127	123	127	124	119
	125	127	120	173	125	131	126	123
	129	118	124	165	128	140	116	128
20	129	119	124	175	128	120	124	128
	129	127	173	170	125	121	124	127
	126	126	178	169	126	123	168	150

HÄRTEMESSUNG NACH VICKERS

Malngold G - HV₁ (Kp/mm²)

	A	B	C	D	A	B	C	D
21	111	129	128	125	160	113	123	158
	118	128	128	123	126	122	131	126
	117	123	153	122	130	138	170	124
22	125	123	138	120	128	162	162	125
	122	163	167	122	126	171	127	123
	111	169	134	133	126	165	122	115
23	119	170	127	129	128	165	121	126
	120	167	125	131	125	119	127	125
	125	148	129	157	128	122	169	125
24	124	170	118	160	126	123	165	123
	128	153	128	159	113	133	127	127
	125	149	125	153	111	147	122	123
25	123	119	145	155	126	152	127	123
	123	123	136	152	128	143	130	121
	117	117	118	155	127	132	119	123
26	139	125	118	161	129	169	120	123
	132	115	121	125	139	171	129	119
	143	124	118	123	139	171	163	140
27	140	127	117	131	171	167	171	127
	148	128	120	130	165	130	125	121
	170	129	120	119	162	127	123	119
28	153	140	120	139	165	127	130	118
	149	127	128	135	139	126	130	119
	169	131	123	123	132	125	129	122
29	168	140	120	125	143	165	132	120
	165	175	120	121	140	172	125	125
	166	171	167	119	123	172	125	120
30	120	170	165	120	125	169	124	124
	123	153	128	117	129	130	121	126
	123	117	123	157	129	127	122	116

HÄRTEMESSUNG NACH VICKERS

Maingold G - HV₁ (Kp/mm²)

	A	B	C	D		A	B	C	D
31	160	150	124	131		134	127	121	126
	150	159	126	123		138	143	123	143
	165	128	121	129		135	148	130	126
32	163	131	127	128		125	144	128	137
	163	131	127	124		127	119	129	142
	169	134	135	128		131	125	127	126
33	164	138	126	132		131	119	127	122
	157	136	126	126		131	125	118	130
	160	134	127	124		130	123	118	163
34	169	134	127	123		125	124	123	128
	174	136	142	122		125	127	127	131
	163	133	120	121		130	119	132	121
35	162	134	128	127		132	128	134	132
	144	134	128	137		129	130	120	127
	139	137	129	125		129	127	120	117

HÄRTEMESSUNG NACH VICKERS

Herador H verg. - HV_1 (kp/mm²)

Mittelwert der Vickershärte HV_1 (kp/mm²)

in A:	$Mx = 260,803$
in B:	$Mx = 259,643$
in C:	$Mx = 257,693$
in D:	$Mx = 256,506$
der Randzone:	$Mx_R = 260,223$
des Deckels:	$Mx_D = 257,100$
der gesamten Krone:	$Mx_K = 258,661$

Statistische Signifikanz der Härtewerte HV_1 (kp/mm²)

in A:	$s = \pm 9,219$
in B:	$s = \pm 9,235$
in C:	$s = \pm 13,454$
in D:	$s = \pm 11,910$
der Randzone:	$s = \pm 9,237$
des Deckels:	$s = \pm 12,698$

HÄRTEMESSUNG NACH VICKERS

Maingold OG - HV_1 (Kp/mm^2)

Mittelwert der Vickershärte HV_1 (Kp/mm^2)

in A: $Mx = 242,177$

in B: $Mx = 243,688$

in C: $Mx = 242,733$

in D: $Mx = 241,066$

der Randzone: $Mx = 242,933$

des Deckels: $Mx = 241,900$

der gesamten Krone: $Mx = 242,416$

Statistische Signifikanz der Härtewerte HV_1 (Kp/mm^2)

in A: $s = \pm 9,891$

in B: $s = \pm 12,852$

in C: $s = \pm 8,124$

in D: $s = \pm 8,098$

der Randzone: $s = \pm 11,450$

des Deckels: $s = \pm 8,116$

HÄRTEMESSUNG NACH VICKERS

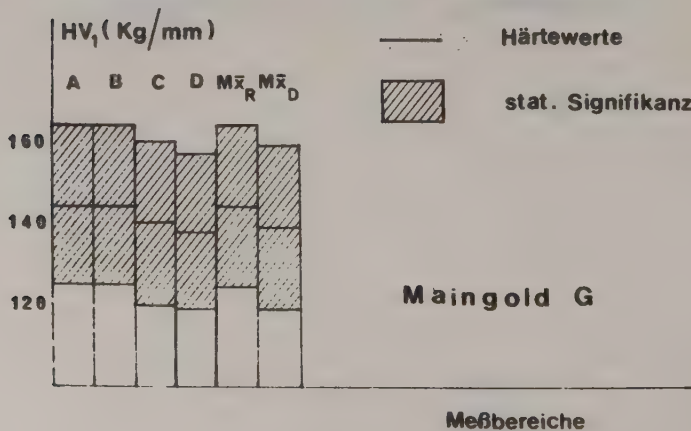
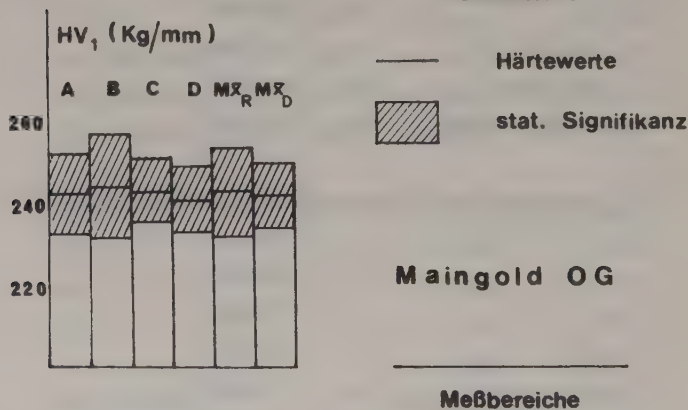
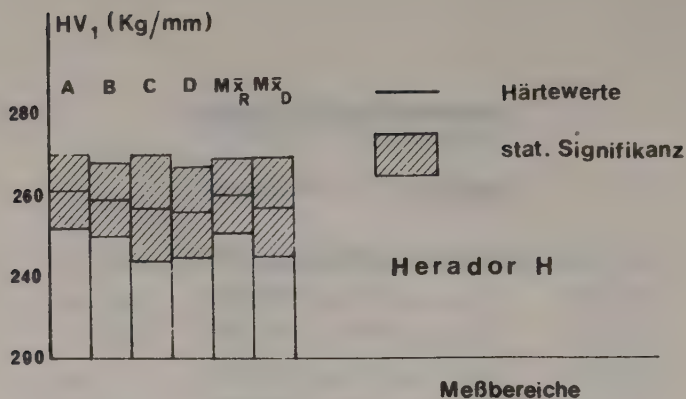
Maingold G - HV_1 (Kp/mm^2)

Mittelwert der Vickershärte HV_1 (Kp/mm^2)

in A:	$Mx = 143,919$
in B:	$Mx = 143,833$
in C:	$Mx = 140,214$
in D:	$Mx = 137,880$
der Randzone:	$Mx = 143,876$
des Deckels:	$Mx = 139,047$
der gesamten Krone:	$Mx = 141,461$

Statistische Signifikanz der Härtewerte HV_1 (Kp/mm^2)

in A:	$s = \pm 20,196$
in B:	$s = \pm 20,577$
in C:	$s = \pm 20,231$
in D:	$s = \pm 18,893$
der Randzone:	$s = \pm 20,363$
des Deckels:	$s = \pm 19,585$



ASTM-KORNGRÖßENRICHTREIHE

Herador H verg.

KRONE	ASTM-NR.		KRONE	ASTM-NR.	
1	8,5	9	26	7,5	7
2	8	8,5	27	8	8
3	8	7,5	28	7,5	8
4	8	8	29	8	8
5	8	8	30	7,5	7,5
6	8	8,5	31	8	8
7	7	8	32	8	8
8	8	8,5	33	8,5	8,5
9	7,5	8	34	8,5	8,5
10	8	8,5	35	8,5	8,5
11	8	8	36	8	8
12	7,5	8	37	8	8,5
13	8	8	38	8	8,5
14	7	7	39	8,5	8,5
15	8	8	40	8,5	8,5
16	8	8	41	8,5	8,5
17	8,5	8	42	7,5	8
18	7,5	8	43	8,5	8,5
19	8,5	8,5	44	8,5	8,5
20	8,5	8	45	8,5	8,5
21	8	8	46	8,5	8,5
22	8	7,5	47	8	8,5
23	8	8	48	8,5	8,5
24	7,5	7	49	8,5	8,5
25	7,5	7	50	8,5	8,5

ASTM-KORNGRÖßENRICHTREIHE

Maingold OG

KRONE	ASTM-NR.		KRONE	ASTM-NR.	
1	9,5	10	9	9,5	10
2	10	10	10	10	10
3	10	10	11	10	10
4	10	10	12	10	10
5	10	10	13	9,5	10
6	10	10	14	10	10
7	10	10	15	10	10
8	10	10			

ASTM-KORNGRÖßENRICHTREIHE

Maingold G

KRONE	ASTM-NR.		KRONE	ASTM-NR.	
1	8,5	8,5	19	8	8
2	7,5	8	20	8	8
3	7,5	7,5	21	7,5	7,5
4	7	7,5	22	8	8
5	7,5	7,5	23	8	8
6	7,5	8	24	7,5	7,5
7	7,5	8	25	7,5	7,5
8	8	7,5	26	7,5	7,5
9	7,5	7,5	27	7,5	7,5
10	7,5	7,5	28	7,5	7,5
11	7,5	7,5	29	8,5	8
12	7,5	7	30	8	7,5
13	7	7	31	8	7,5
14	7	7	32	7,5	7,5
15	7	7	33	8	7,5
16	7,5	7,5	34	7,5	7,5
17	7,5	7,5	35	8	7,5
18	7	7			

ASTM-KORNGRÖßENRICHTREIHE

Herador H verg.

Mittelwert aller ASTM-Nr. am Rand

$$Mx_R = \frac{\sum x}{n} = 8,0$$

Mittelwert aller ASTM-Nr. am Deckel

$$Mx_D = \frac{\sum x}{n} = 8,1$$

Statistische Signifikanz

$$S_R = \pm 0,89$$

$$S_D = \pm 0,71$$

Meingold OG

Mittelwert aller ASTM-Nr. am Rand

$$Mx_R = \frac{\sum x}{n} = 9,9$$

Mittelwert aller ASTM-Nr. am Deckel

$$Mx_D = \frac{\sum x}{n} = 10,0$$

Statistische Signifikanz

$$S_R = \pm 0,07$$

$$S_D = \pm 0,0$$

Meingold G

Mittelwert aller ASTM-Nr. am Rand

$$Mx_R = \frac{\sum x}{n} = 7,6$$

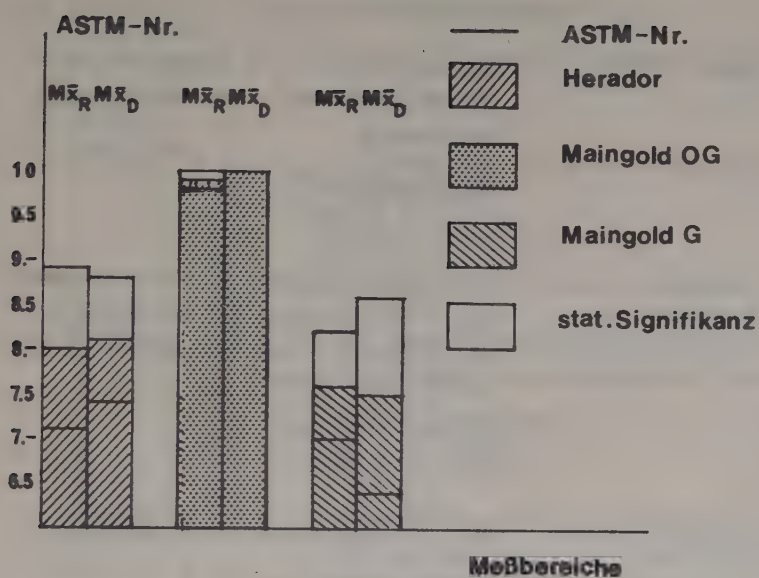
Mittelwert aller ASTM-Nr. am Deckel

$$Mx_D = \frac{\sum x}{n} = 7,5$$

Statistische Signifikanz

$$S_R = \pm 0,63$$

$$S_D = \pm 1,09$$



1. BEECK, K.H. Prüfungsergebnisse zahnärztlicher
Gußverfahren und ihre praktische
Auswertung

Dtsch. zahnärztl. Z.
13, 470 (1958)

2. BOLOURI, A. und Experimentelle Untersuchungen über
MARXKORS, R. die Veränderungen der Rauhtiefe
des Urmodells bei der Anfertigung
eines Gußstückes

Dtsch. zahnärztl. Z.
24, 1023 (1969)

3. BONSACK, Ch. Der heutige Stand des Gußproblems

Dtsch. zahnärztl. Z. 8, 67 (1953)

4. CRAWFORD, W.H. Selection and use of investments,
sprues, casting equipment and gold
alloys in making small castings

J. amer. dent. Ass.
27, 1459 (1940)

5. DEGUSSA Wie bekommt man dichte lunker-
freie Güsse

DEGUSSA-Brief, Neue Folge,
22 (1954)

6. DEGUSSA Schmelzeinrichtungen

DEGUSSA-Brief, Neue Folge,
20-21 (1954)

7. DEGUSSA Edelmetalltaschenbuch
DEGUSSA, Frankfurt am Main, (1967)
8. DREYER-
JÖRGENSEN, K. Prüfungsergebnisse zahnärztlicher
Gußverfahren
Dtsch. zahnärztl. Z.
13, 461 (1958)
9. EICHNER, K. Der Kronenrand und das marginale
Parodontium aus klinischer Sicht
Dtsch. zahnärztl. Z.
24, 741 (1969)
10. FAESCH, Th. Untersuchungen über Gußstruktur
und Gießverfahren bei verschiede-
nen zahnärztlichen Kronen- und
Brückenlegierungen
Schweiz. Monatsschr. f. Zahn-
heilkunde 49, 797 (1939)
11. FRITSCH, C., Das Gießen mit dem verlorenen Kopf
ELBRECHT, A. Zahnärztl. Rundsch. 39, 709 (1930)
und NOWACK, L.
12. FRÖHLICH, E. Zahnfleischrand und künstliche
Krone
Dtsch. zahnärztl. Z.
22, 1252 (1967)

13. FUCHS, K.D. Der Einfluß der Gußapparate auf
die Qualität des zahnärztlichen
Gusses
Med. Diss. Mainz (1967)
14. GRABL, J.F. Verbesserungen der Oberfläche von
Güssen durch Netzmittel und
Vakuumeinbettung
Dtsch. zahnärztl. Z.
9, 1057 (1954)
15. GREWE, K. Histologische Untersuchungen zur
Frage der Schädigung des Parodon-
tiums durch Kronenringe
Dtsch. Mschr. Zahnheilk.
24, 791 (1926)
16. GRÜNDLER, H. Das moderne Guß- und Lötverfahren
in der Zahntechnik
Das Dentallabor 5, 227 (1968)
17. HARNDT, E. Der Goldguß in der zahnärztli-
chen Praxis
Dtsch. zahnärztl. Wschr.
36, 710 (1933)
18. JUNG, F. und
HUPFAUF, L. Reaktionsvermögen des Mundhöhlen-
gewebes auf exogene Faktoren mit
klinischen Hinweisen und thera-
peutischen Vorschlägen
Dtsch. zahnärztl. Z.
10, 615 (1961)

19. KIWKOWICZ, A.A. Experimentelle Untersuchungen
über die Wirksamkeit der Vakuum-
druckeinbettung bei zahnärzt-
lichen Gußverfahren
Med. Diss. Tübingen (1949)
20. KLEEGER, R. Biologische Grundlagen des
Metallkronenersatzes
Sammlung Dtsch. Zahnheilk.
Georg Thieme, Leipzig (1934)
21. KÖRBER, K.H. Beitrag zum Problem der Rand-
gestaltung von Ersatzkronen
Zahnärztliche Welt und Reform
69 (1968)
22. KRAFT, E. Physiologische Grundlagen und
Technik des Brückenersatzes
Dtsch. Zahnärztebl.
19, 140 (1965)
23. KRAFT, E. Die Gestaltung des Kronenrandes
Dtsch. zahnärztl. Z.
24, 751 (1969)
24. KRAFT, E. Klinische und werkstoffkundliche
Gesichtspunkte zur Frage der
Band- oder Gußkrone
Zahnärztl. Praxis 18, 101 (1967)

25. KYSELOVA, J.,
KYSELOVA, B.
und MARES, J. Der Einfluß der Gußapparate auf
das Vorkommen der Defekte in
Dentalgüssen
Schw. Mschr. f. Zahnheilk.
69, 403 (1959)
26. KYSELOVA, J.,
KYSELOVA, B.
und MARES, J. Kontraktionsdefekte der Dental-
güsse und Möglichkeiten ihrer
Beseitigung
Dtsch. zahnärztl. Z.
13, 1310 (1958)
27. LINDNER, A. Planen und Auswerten von Versuchen
Birkhäuser-Verlag Basel und
Stuttgart 1959
28. LOEBICH, O. Das Gefüge von Goldgußarbeiten
Dtsch. zahnärztl. Z.
8, 1149 (1953)
29. LOEBICH, O. Der Lunker und seine Vermeidung
Dtsch. zahnärztl. Z.
8, 1037 (1953)
30. MAHLER, W. Gußmetalle
Dtsch. Goldschmiedezeitung
9, 762 (1964)
31. MARX, H. Über den Einfluß des Gußverfah-
rens auf die Poren- und Lunker-
bildung
Dtsch. zahnärztl. Z.
22, 1228 (1967)

39. SCHUG-KÖSTERS, M. Einführung in die Behandlung der marginalen Parodontopathien
Schriften zur Praxis der Zahn-
ärzte, Band 1, Werk-Verlag
Banaschewski, München (1963)
40. SCHUMANN, H. Metallographie
Fachbuchverlag Leipzig (1958)
41. SPRENG, M. In Häupl, K., Meyer, W.,
Schuchardt, K.
Die Zahn-, Mund- und Kiefer-
heilkunde, Band 5, Edelmetalle
Urban & Schwarzenberg, München -
Berlin 765 (1955)
42. STRICKLAND, W.D. Porosity in the full cast crown
und
STURDEVANT, C.M. J. amer. dent. Ass. 53, 69 (1959)
43. TAEGE, F. Moderne zahnärztliche Gußverfahren
Dtsch. Stomat. 7, 182 (1957)
44. TYLMAN, S.D. Theory and practice of crown and
und
TYLMAN, S.G. bridge prosthodontics
The C.V. Mosby Company,
St. Louis (1960)
45. VEST, G. Lehrbuch der zahnärztlichen
Kronen- und Brückenprothetik,
Band I, Burkhäuser-Verlag,
Basel - Stuttgart (1960)

46. VOB, R. Klinische und werkstoffkundliche Gesichtspunkte zur Frage der Band- oder Gußkrone
Zahnärztl. Praxis 18, 93 (1967)
47. VOB, R. Die Festigkeit metallkeramischer Kronen
Dtsch. zahnärztl. Z. 24, 726 (1969)
48. VOB, R. Band- oder Gußkronen? Indikationen und Grenzen in der zahnärztlichen Praxis
Dtsch. zahnärztl. Z.
20, 506 (1966)
49. VOB, R. Zu speziellen Fragen der Gußtechnik
Dtsch. zahnärztl. Z.
22, 1220 (1967)
50. WAGNER, E. Beitrag zum Präzisionsgußverfahren
Dtsch. zahnärztl. Z.
22, 1215 (1967)
51. WEIKART, P. Grenzen und Prüfung der Gußgenauigkeit
Dtsch. zahnärztl. Z. 12, 897 (1957)
52. WEIKART, P. Werkstoffkunde für Zahnärzte
Carl Hanser Verlag, München
133 (1966)

Abschließend danke ich Herrn PD. Dr. Dr. P. Fuchs
für die Überlassung des Themas, Herrn Dr. G. Henning
der Firma HERAEUS, Hanau, für die Ratschläge und Hilfe
bei der Gestaltung dieser Arbeit.

LEBENS LAUF

Am 26. Januar 1945 wurde ich, Erhard S c h ö n , in Kempten/Allgäu als Sohn des Bundesbahn-Amtmannes Erhard Schön und seiner Ehefrau Dr. med. dent. Irmgard Schön, geb. Baur, geboren.

In Kempten/Allgäu besuchte ich ab 1. September 1951 vier Jahre die Volksschule und anschließend zehn Jahre die Oberrealschule, die ich am 2. Juli 1965 mit dem Reifezeugnis verließ.

An der Ludwig-Maximilians-Universität in München wurde ich im Wintersemester 1965/66 in der Medizinischen Fakultät für das Fach Zahnheilkunde immatrikuliert und legte hier die naturwissenschaftliche zahnärztliche Vorprüfung nach dem Wintersemester 1966/67, die zahnärztliche Vorprüfung nach dem Wintersemester 1967/68 ab. Das Staatsexamen erwarb ich nach dem Sommersemester 1970.

Im Dezember 1970 erhielt ich die Approbation als Zahnarzt. Seit dem 1. Januar 1971 arbeite ich als Verwalter der Dienstgeschäfte eines wissenschaftlichen Assistenten in der Prothetischen Abteilung der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universität München.

